

ОСОБЛИВОСТІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ МЕРЕЖ 35 - 110 кВ REL650

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено аналіз особливостей мікропроцесорних терміналів дистанційного захисту серії Relyion 650 (REL650) виробництва Hitachi Energy (ABB) у сучасних мережах напругою 35–110 кВ. Досліджено вплив масової інтеграції відновлюваних джерел енергії на ефективність роботи дистанційного захисту.

Ключові слова: повітряні лінії електропередачі, релейний захист, дистанційний захист.

Abstract

The paper analyzes the functional capabilities and operational features of the Relation 650 (REL650) series microprocessor distance protection terminals manufactured by Hitachi Energy (ABB) in modern 35–110 kV networks. The study investigates the impact of the mass integration of renewable energy sources on the efficiency of distance protection.

Keywords: transmission lines, relay protection, distance protection.

Вступ

Для стабільного функціонування повітряних ліній і забезпечення безперервності електропостачання важливим є впровадження сучасних систем релейного захисту та протиаварійної автоматики. Ці системи забезпечують автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі в разі виникнення аварій або відхилень у роботі (наприклад, при коротких замиканнях). Водночас ненадійність окремих елементів або недоліки в проектуванні схем релейного захисту можуть призвести до небажаних наслідків – до відмови в роботі чи до неселективного спрацьовування захисту.

Сучасний стан об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України характеризується частою трансформацією, зумовленою масовою інтеграцією відновлюваних джерел енергії у мережі різних класів напруг. Такі зміни висувають принципово нові вимоги до пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА), де ключовим елементом забезпечення надійності мережі залишається дистанційний захист (ДЗ).

Сучасний етап розвитку релейного захисту характеризується повним переходом до використання багатофункціональних мікропроцесорних терміналів. Термінал серії Relion 650 (REL650) виробництва компанії Hitachi Energy (ABB), забезпечує необхідний функціонал для захисту ліній електропередач. Актуальність дослідження особливостей ДЗ на базі REL650 зумовлена специфікою мереж 35–110 кВ, де часто зустрічаються паралельні лінії та відпайки на проміжні підстанції [1, 2].

Результати досліджень

Дистанційний захист REL650 побудований за принципом повної схеми вимірювання, що є стандартом для сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту. На відміну від застарілих пристроїв з перемиканням вимірювальних органів, у REL650 наявні окремі вимірювальні контури для різних видів пошкоджень. Пристрій відповідає стандарту IEC 60255-121, відповідно до якого, швидкість роботи складає півтора періоди, що характеризує пристрій як швидкодійний, а також виключає помилки при складних видах пошкоджень, таких як перехід одного виду замикання в інший. Є можливість налаштувати 6 окремих зон дії. Кожна з зон може бути налаштована незалежно від вибору напрямку дії та типу характеристики. Є два типи характеристик - кругова та чотирикутна. Реалізація ДЗ дозволяє використовувати розвинені комунікаційні моделі, включаючи схеми із гнучким

налаштуванням сигналів. Для мереж із розосередженою генерацією передбачена логіка спрацювання при слабкому підживленні, яка доповнюється алгоритмами блокування при зміні знаку потужності на паралельних лініях для запобігання зайвим спрацюванням. В архітектурі пристрою реалізовано спеціалізовані алгоритми, зокрема захист від асинхронного ходу з використанням двозонної лінзоподібної характеристики та систему блокування при хитаннях потужності, що базується на аналізі часу проходження годографа опору через розрахункові області. Функціональний набір доповнюється логікою миттєвого відключення при вмиканні на існуюче пошкодження та гнучкою системою автоматичного повторного вмикання з підтримкою багатофазних циклів до п'яти спроб включно. Гнучкість алгоритмічної бази дозволяє здійснювати роздільне формування характеристик спрацювання на комплексній площині для різних видів пошкоджень, враховуючи специфіку параметрів прямої та нульової послідовностей, що критично важливо для відбудови від навантажувальних режимів та перехідних опорів у місці замикання. Зовнішній вигляд захисту зображено на рисунку 1.



Рис.1 – REL 650 - дистанційний захист ліній компанії Hitachi Energy

Масштабна інтеграція об'єктів відновлюваної енергетики в мережі напругою 35–110 змінює трансформує характер перехідних процесів, що впливає на роботу дистанційного захисту. Ефект підживлення, що виникає при підключенні генерації між точкою встановлення захисту та місцем пошкодження впливає на вимірювальний орган захисту. У такому вимірювальний орган може фіксувати завищене значення опору. Це призводить до явища скорочення зони дії, коли пошкодження в межах першої ступені відключаються з неселективною витримкою часу, що є критичним для надійності функціонування мережі.

Інверторні джерела, які, на відміну від синхронних машин, обмежують амплітуду струму на рівні 1.1–1.3 від номінального. Такі обмеження впливають на роботу захисту, що призводить до неправильної роботи. У терміналі REL650 реалізовано логіку роботи при слабкому підживленні, що базується на координації між напівкомплектами захисту. Алгоритм використовує комбінований аналіз локальних аналогових величин та сигналів віддаленого кінця, ініціюючи режими повернення сигналу або примусового відключення при зафіксованому падінні напруги. Завершальним етапом забезпечення селективності є застосування адаптивної чотирикутної характеристики спрацювання. В терміналах серії 650 явища перевищеної та скороченої зони дії мінімізуються шляхом динамічної корекції чотирикутної характеристики та впровадження алгоритмів компенсації падіння напруги на перехідному опорі. Це дозволяє пристрою гнучко адаптуватися до мінливої конфігурації мережі та нелінійних характеристик джерел на базі силової електроніки, гарантуючи точне відключення пошкоджень у складних топологічних умовах. Для деталізації механізмів забезпечення селективності слід розглянути інструментарій мінімізації явищ перевищеної та скороченої зони дії. Явище скороченої зони дії зазвичай зумовлене ефектом підживлення, за якого проміжна генерація штучно підвищує рівень напруги в точці заміру, що інтерпретується вимірювальним органом як збільшення повного опору до місця замикання. Для компенсації цього впливу в терміналах REL650 застосовується чотирикутна характеристика з адаптивним кутовим нахилом верхньої межі реактивного опору. Це

дозволяє врахувати фазовий зсув струму підживлення та фактично коригувати межу зони захисту відповідно до реальної координати пошкодження. Натомість для запобігання перевищеної зони дії, що виникає через магнітні зв'язки паралельних ліній або значний опір дуги, пристрій використовує точний орган вибору фаз, що функціонує паралельно з основними дистанційними зонами. У випадках, коли зміщення імпедансу спричинене накладанням струмів навантаження на вектори зовнішнього пошкодження, алгоритм блокує спрацювання першої зони. Додатковим інструментом стабілізації є функція відсікання навантажувального режиму, яка дозволяє виключити з робочої характеристики області можливого знаходження вектора опору при важких транзитних перевантаженнях. Ефективність вищезгаданих характеристик безпосередньо залежить від чистоти вхідних сигналів, що забезпечується багаторівневою системою цифрової обробки. В умовах сучасних мереж, насичених силовими перетворювачами відновлюваних джерел енергії, струм короткого замикання суттєво відхиляється від синусоїдальної форми. Для нейтралізації впливу несинусоїдальних складників в архітектурі REL650 реалізовано алгоритм адаптивного вікна дискретного перетворення Фур'є. Пристрій здійснює безперервний моніторинг частоти мережі, динамічно підлаштовуючи крок дискретизації для точного охоплення одного періоду основної гармоніки. Такий підхід у поєднанні з цифровими рекурсивними фільтрами низьких частот дозволяє ефективно придушувати аперіодичну складову та вищі гармоніки, зокрема другу та п'яту, що є характерними для режимів роботи сонячних та вітрових станцій. У версіях програмного забезпечення 2.2 і вище впроваджено функцію контролю сумарного коефіцієнта гармонік, яка при перевищенні критичних порогів автоматично активує стабільніші моделі розрахунку імпедансу, запобігаючи хибним спрацюванням через високочастотний «шум» інверторів. Проте навіть за умови ідеальної фільтрації сигналів, висока концентрація відновлюваних джерел енергії у вузлі навантаження створює ризики через зміну фазового кута між струмом та напругою, що задається логікою керування інверторів. У режимах підтримки напруги шляхом ін'єкції реактивного струму виникає додатковий зсув вектора вимірюваного опору на комплексній площині, що може призвести до виходу параметрів за межі встановленої характеристики. Для вирішення цього треба при конфігуруванні REL650 застосовувати адаптивні уставки по активному опору, що дозволяють розширити область охоплення вздовж осі з урахуванням перехідного опору в місці підживлення. Критично важливим при цьому є узгодження дистанційних органів із логікою прискорення та функціями захисту від несиметрії, оскільки інверторна генерація може не забезпечувати достатнього рівня струмів для класичних пускових органів. Окремим аспектом надійності є функціонування в умовах паралельних ланцюгів, де реалізована адаптивна зміна параметрів компенсації нульової послідовності. Основна складність полягає в динамічній зміні взаємоіндукції залежно від оперативного стану суміжної лінії. Якщо паралельна лінія виводиться в ремонт і заземлюється, створюється контур, який змінює параметри нульової послідовності працюючої лінії. В терміналах REL650 ця проблема вирішується через використання дискретних сигналів про стан комутаційних апаратів сусідньої лінії, що дозволяє автоматично перемикає групи уставок або динамічно коригувати коефіцієнт. Під час роботи обох ланцюгів пристрій використовує повну модель взаємоіндукції на основі вимірювання струму. У разі ж заземлення паралельної лінії активується спеціальний набір параметрів, що враховує ефект екранування. Така логіка дозволяє усунути похибки визначення відстані до місця пошкодження, які в традиційних системах можуть сягати 20–30%, забезпечуючи стабільність першої зони захисту незалежно від конфігурації первинного кола.

Висновки

1. REL650 є високоефективним рішенням для забезпечення надійності мереж 35–110 кВ у сучасних умовах трансформації енергосистеми.
2. Проведений аналіз підтвердив, що використання вдосконалених алгоритмів та адаптивних чотирикутних характеристик дозволяє успішно нівелювати негативний вплив інверторного генерування, зокрема через реалізацію спеціалізованої логіки та динамічне відстеження частоти. Динамічне відстеження частоти доступне у версіях програмного забезпечення 2.2 і вище.
3. Впровадження механізмів компенсації взаємоіндукції нульової послідовності за допомогою параметра взаємного опору забезпечує високу точність роботи дистанційних органів на паралельних лініях.

4. Комплексне налаштування функціональних можливостей REL650, включаючи адаптацію до гармонійного спотворення та включаючи інтегровані блоки.
5. Відлаштування від впливу навантаження, дозволяє підтримувати високу селективність і чутливість захисту, що є критично важливим для стабільної роботи субмагістральних мереж з активним впровадженням розподіленої генерації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Навч. посібник, Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2015. – 533 с.
2. REL650 - Line distance protection application guide [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/substation-automation-protection-and-control/products/protection-and-control/relion-product-family/relion-650-series/rel650#tab-tabs-fc50e91a04-item-f66f5b783a>

Пограничний Богдан Петрович – студент групи G3-25a, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bohdan.work9@gmail.com

Рубаненко Олександр Євгенійович – канд. техн. наук, професор кафедри електричних станцій та систем. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rubanenko.o.y@vntu.edu.ua

Bohdan P. Pohranychnyi - student of group G3-25a, Faculty of Electrical Power Engineering, Electromechanics, and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: bohdan.work9@gmail.com

Oleksandr Y. Rubanenko - Ph.D. in Technical Sciences, Professor of the Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rubanenko.o.y@vntu.edu.ua